

# 倫敦鐵橋不要垮—— 探討橋墩受損的原因及預防的方法

初小組地球科學科第一名

高雄市愛國國民小學

作者：陳一靈、蕭伊閔、高鈺純、黃筱媛  
指導教師：陳建良、楊宜倫

## 一、研究動機

「賀伯颱風來襲，全省有多處道路坍方，橋樑損壞嚴重，交通爲之受阻……」，看到了以上的報導，不禁令我感到疑惑，爲什麼會有那麼多的橋樑禁不起流水的沖刷而遭破壞？難道這些破壞真的都無法避免嗎？於是，爲了更加了解橋樑，我們便著手進行以下的研究。

## 二、研究目的

- (一)實地觀察高屏縣境內水陸橋橋樑的主體結構，並作記錄、歸納。
- (二)探討水陸橋橋墩可能受損的原因。
- (三)探討是否有預防橋墩受損的較佳方法。

## 三、設備與材器

- (一)相機、V 8、自製流水平台、紙黏土、量角器、量筒、磅秤。
- (二)清水、細砂、泥土、小礫石（0.5~1cm）、大礫石（1~3cm）。

## 四、研究過程或方式

- (一)實地觀察高屏縣境內橋樑結構及其周邊概況（85年12月觀察記錄）。

橋名 情形 項目	里嶺大橋	里港大橋	高樹大橋	高美大橋	大津橋
所在位置	高雄縣嶺口	屏東縣里港	屏東縣高樹	屏東縣高樹	屏東縣大津
河流名稱	旗山溪	荖濃溪	隘寮溪	荖濃溪	荖濃溪
水流量	4 (較多)	2	3	2	1 (最少)
交通流量	多	多	多	多	少
主結構	水泥	水泥	水泥	水泥	水泥
橋墩形狀	圓柱	橢圓	半橢圓	圓柱	圓柱、圓錐
採砂石狀況	有	有	有	有	無
受賀伯影響	擋土牆毀損	五座橋墩遭沖毀，交通中斷	無	一座橋墩下陷58公分，造成橋面傾斜，交通中斷	無
其他	有擋土牆	有蛇籠			有消波塊

#### 特殊記要：

1. 里嶺大橋：在橋的往下游方向，橋墩旁有一長排擋土牆，並有許多串聯在一起的大水泥塊。
2. 里港大橋：(1)此橋曾拓寬過，因此有新舊橋面的交接處，而遭洪水沖毀的都是舊橋橋墩及橋面部份。(2)還有多座舊橋墩的地基也已暴露在外。(3)在橋墩周邊有蛇籠順著水流方向呈長條狀排列，但是並非每座橋墩旁都有。
3. 高樹大橋：(1)意外發現橋墩呈半橢圓形，迎著流水的一面是橢圓形，而另外一面卻是方形。(2)在橋墩底座周圍，觀察到與橋墩同形狀之水坑。
4. 大津橋：(1)橋旁有許多消波塊，而且此處石頭較大。(2)此橋也曾拓寬，而舊橋墩呈圓錐狀，其中一側有鐵皮包覆，以防止遭大石頭撞擊破壞。

#### (二)探討橋墩可能受損的原因

說明：由實地觀察中，發現大部份水陸橋都使用圓柱橋墩，所以本實驗的橋墩模型也採用圓柱體。另外，在每次實驗中只改變一個變因，並且重覆進行實驗多次，以減少誤差。

#### 研究 1：不同坡度的河道水流對橋墩會有影響嗎？

- (1)將橋墩模型置於實驗槽中，以固定水量2000公撮，由給水槽流下。
- (2)以相同水流速度，同一流水平台，重覆進行實驗五次。
- (3)依序改變河道的坡度，觀察並記錄模型受水流沖擊後移動的距離。

坡度 次 距 數 離	10度	20度	30度	40度	50度	60度
	第一次	0	3.5	16.0	21.0	13.0
第二次	0	2.0	13.0	22.0	11.5	3.0
第三次	0	2.0	12.0	16.0	9.0	4.0
第四次	0	3.0	8.5	18.0	7.0	4.0
第五次	0.2	1.5	10.5	15.0	10.0	4.0
平 均	0.04	2.4	12.0	18.4	10.1	3.6

不同坡度的河道水流對橋墩的影響 單位：公分

結果：坡度愈大，流水沖擊力量愈大，使橋墩模型移動愈遠，但是超過40度以上時，因力量沖擊過大而使模型移動不遠即瞬間倒下。

研究 2：含有不同材質的水流對橋墩會有不同的影響嗎？

- (1)將橋墩模型置於實驗槽中，固定10度坡度，於坡道上擺置砂土，以每次水量2000公撮進行沖刷實驗，並測量模型移動的距離。
- (2)每次以相同水流速度，沖刷橋墩模型，重覆進行實驗五次。
- (3)依序改變放置不同材質的砂土各400克，觀察並記錄模型受水流沖擊後的情形。

不同材質 次 距 數 離	清水	水+砂	水+泥	水+小礫石	水+大礫石	水+泥+小礫石	水+泥+大礫石
	第一次	0	0	2.0	4.0	6.0	4.2
第二次	0	0	3.2	7.0	8.2	5.0	6.7
第三次	0	0	2.5	5.0	8.0	3.8	7.5
第四次	0	0	0.8	7.0	9.8	6.0	8.0
第五次	0.2	0	1.0	6.0	7.0	4.0	5.2
平 均	0.04	0	1.9	5.8	7.8	4.6	6.84

不同材質的水流對橋墩的影響

單位：公分

結果：以（水+大礫石）沖擊力量最大，使橋墩模型移動最遠；而（清水）及（水+砂）對於模型受水流沖擊，影響最小。

研究 3：橋墩周邊若有盜採砂石是否會對橋墩造成影響？

(1)將橋墩模型置於鋪砂（每次均等量）的實驗槽中，以每次2000公撮清水，流經10度坡度之流水平台，連續沖刷五次，測量橋墩周邊砂石降低之高度。

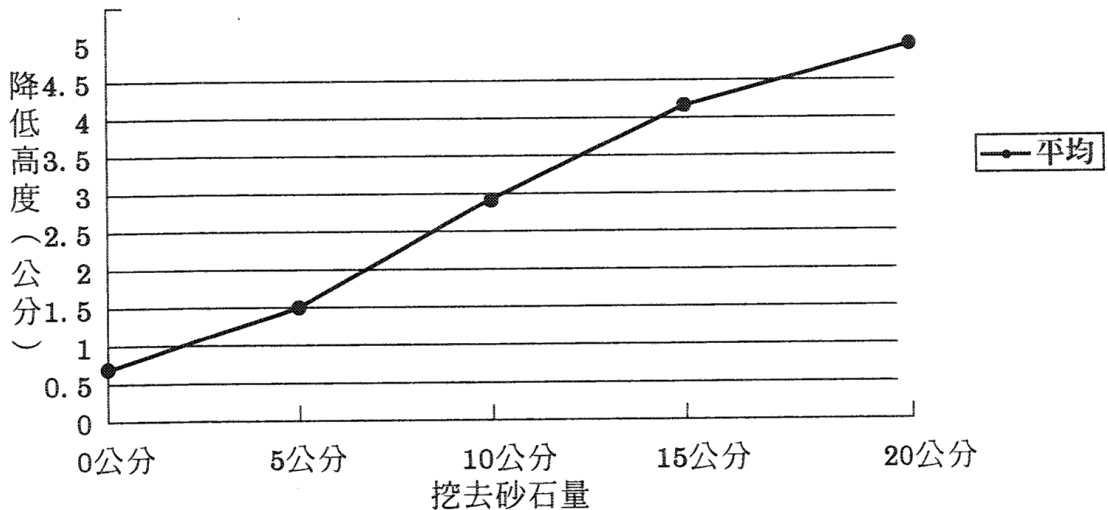
(2)以(1)之步驟，重覆進行實驗五次。再依序挖去鋪於實驗槽中末端的砂土5公分、10公分、15公分、20公分，分別進行沖刷實驗，觀察並記錄。

土石量 距離 次數	挖去砂石量				
	挖去0公分	挖去5公分	挖去10公分	挖去15公分	挖去20公分
第一次	1.0	2.0	2.0	沖至第4次倒	沖至第3次倒
第二次	0.5	1.0	3.0	3.2	沖至第4次倒
第三次	0.4	1.5	2.9	4.1	沖至第3次倒
第四次	0.7	2.0	3.2	3.5	4.5
第五次	1.2	1.2	3.6	沖至第5次倒	沖至第4次倒
平均	0.76	1.54	2.94	4.16	4.9

橋墩周邊盜採砂石對橋墩的影響

單位：公分

挖去砂石量與橋墩周邊砂石降低高度關係圖



結果：明顯發現於橋墩下游位置挖去更多砂石時，則遭受流水沖刷後，橋墩周邊砂石流失嚴重，以致橋墩基礎嚴重暴露於外，加速橋樑的毀損。

(三)探討是否有預防橋墩受損的較佳方法。










說明：在實地觀察中發現：大部份橋墩形狀是圓形或橢圓形的，心想：是否有其他形狀的橋墩會更耐用；另外，我們也發現有幾座橋墩的周邊出

現消波塊及蛇籠，覺得很納悶，不知道到底有什麼作用，於是進行下面的實驗。

研究 4：各種不同形狀的橋墩受流水沖刷後，會有什麼不同結果呢？

(1)以2000公撮清水，流經20度之流水平台，向下沖刷實驗槽中之橋墩模型，測量模型受流水沖擊後移動的距離。再以相同的步驟，重覆進行實驗五次。

(2)依序改變置放不同形狀的橋墩模型，觀察並記錄模型受流水沖擊後之情形。

形狀 距離 次數									
第一次	8.0	6.0	4.5	8.0	19.0	14.0	15.0	3.0	5.0
第二次	4.5	2.5	12.0	6.0	18.0	10.0	13.0	0	6.0
第三次	7.0	4.0	9.5	12.0	10.0	13.0	14.0	3.0	3.0
第四次	6.0	4.0	7.0	9.0	12.0	14.0	15.0	3.0	2.0
第五次	5.5	0	8.0	13.0	16.0	12.0	14.0	3.0	4.0
平均	6.2	3.3	8.2	9.6	15.0	12.6	14.2	2.4	4.0

不同形狀的橋墩模型受水流沖擊的結果

單位：公分

結果：由實驗中發現：以“→ ◁”形狀受到水流的影響最小，而以“→ ▷”受到水流的影響最大。

研究 5：如果在橋墩周邊裝置一些設備，是否能夠減低橋墩受水流的影響呢？

(1)以蛇籠及消波塊模型，分別放置於鋪砂的橋墩兩側，然後進行流水沖刷實驗。

(2)以2000公撮清水，流經10度的流水平台，連續沖刷，直到橋墩模型倒下為止，記錄其倒下時的次數。

(3)重覆(1)、(2)的步驟，分別進行實驗五次。

設施 結果 次數	沒 設 置	置 消 波 塊	置 蛇 籠
	第一次	沖至第3次倒	沖至第4次倒
第二次	沖至第4次倒	沖至第3次倒	沖至第5次倒
第三次	沖至第3次倒	沖至第4次倒	沖至第5次倒
第四次	沖至第2次倒	沖至第5次倒	沖至第4次倒
第五次	沖至第4次倒	沖至第5次倒	沖至第4次倒
平 均	沖至第3.2次倒	沖至第4.2次倒	沖至第4.4次倒

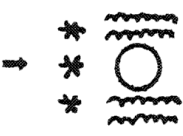
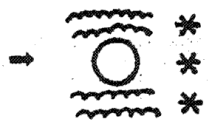
橋墩周邊有沒有裝置保護設施的影響

結果：橋墩模型周邊有裝置設備的，受水流影響較小，而且蛇籠的效果又比消波塊為佳。

進一步研究：

說明：由於發現裝置設備對於保護橋墩有些許幫助，而消波塊及蛇籠也各有其優缺點，所以想把兩者一起合併使用來保護橋墩，看看是否更有幫助？

方法：將蛇籠依長條狀順水流方向擺置於橋墩兩側，而消波塊分別放置在橋墩上游方向（橋墩前方）及下游方向（橋墩後方），以研究5相同的方法進行實驗。

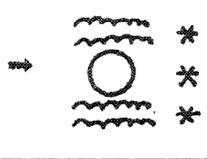
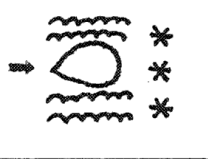
排列方法 結果 次數		
	第一次	沖至第4次倒
第二次	沖至第5次倒	沖至第8次倒
第三次	沖至第5次倒	沖至第4次倒
第四次	沖至第5次倒	沖至第7次倒
第五次	沖至第6次倒	沖至第7次倒
平 均	沖至第5次倒	沖至第6.2次倒

橋墩兩旁置蛇籠，消波塊置於前或後的影響


結果：發現合併使用消波塊及蛇籠比使用單一種對於保護橋墩有較佳的作用，而其中以消波塊在橋墩下游方向的排列情形，效果較為良好。

更進一步研究：

說明：綜合研究 4 及研究 5，我們找到了較佳的橋墩形狀及保護設施排列方法，於是將兩者合併進行實驗，看看是否是最佳的組合（方法同前一個實驗）？

排列方法 結果 次數		
第一次	沖至第 5 次倒	沖至第 11 次倒
第二次	沖至第 8 次倒	沖至第 13 次倒
第三次	沖至第 4 次倒	沖至第 10 次倒
第四次	沖至第 7 次倒	沖至第 11 次倒
第五次	沖至第 7 次倒	沖至第 15 次倒
平均	沖至第 6.2 次倒	沖至第 12 次倒

“○”形及“◐”形橋墩加上  的保護設施受水流沖擊的結果。

結果：以“→◐”橋墩形狀及“→”同時使用的保護設施，是我們發現的最佳橋墩設備，可減少因水流的沖刷，而造成橋樑的毀損。



## 五、討 論

(一)在實地觀察中我們發現：

1. 橋墩形狀大多是屬於圓滑形狀。
2. 有三座橋的橋墩均設有保護措施（擋土牆、消波塊、蛇籠），可見其重要性。
3. 橋面拓寬時，應注意新舊橋面的交接處及舊橋樑橋墩之補強工作（里港大橋橋墩沖毀就是一個例子）。

(二)當流水平台的坡度愈大，水的沖擊力就愈大，而能推動橋墩模型的距離較遠；但是，當坡度超過40度以上時，便發現沖下的水流力量大得瞬間便將模型沖倒了。

(三)當流水平台坡度超過10度以上，流水沖刷時都會使模型移動後順著水流方向

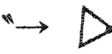





倒下 “  ”，但是到了50度、60度，因水流力量太大，而瞬間使模型依逆水流方向倒下 “  ”。

(四)在研究 2 的實驗中我們發現：

1. 當水中夾雜著愈大顆粒的物質，此時水流的衝擊力量愈大，能使模型移動距離更遠，也更容易倒下。
2. (水+砂)的實驗中很意外地，模型均未移動，實驗觀察發現到：當水往下沖，水流含砂以後，似乎水的力量受到砂的阻力而減緩了，以致於模型都未移動。
3. (水+泥+小礫石)的成份有點類似“土石流”，其影響的程度不小，而當我們把小礫石換成大礫石，則“土石流”破壞的程度更大；所以，可以想見，如果量加大時，其破壞的程度會有多可怕！

(五)在研究 3 中發現：當挖去橋墩下游部份的砂石時，則受到流水的持續沖刷後，會將上游部份之砂石往下搬移，導致橋墩周邊之砂石漸漸減少，最後使得橋墩基礎暴露於外，甚至倒塌。

(六)我們在探討不同形狀橋墩受流水影響的實驗中發現：

1. 為求實驗準確，每個模型控制在40克（重量相等），可是因為是人工自製的，形狀難免有些許誤差，但影響不大。
2. 受流水沖擊的橋墩面愈大，橋墩所承受水的力量就愈大，例如：實驗中的 “  ” 及 “  ” 被移動得最遠而後倒下。
3. 各種形狀中以 “  ” 及 “  ” 兩種形狀表現最好，尤其是以水滴形 “  ”，當水流方向朝向尖端時 “  ”，可以明顯看到橋墩所承受水的力量最小，而且非常穩固，是我們研究的意外發現。

(七)從研究 5 的實驗中發現：



1. 在橋墩周邊放置一些設備，如：消波塊、蛇籠等，可減緩水流對橋墩的破壞。
2. 使用蛇籠保護設施時，應埋入橋墩基礎兩側的砂土內，避免太過高於地面，以增加保護橋墩的穩固程度。
3. 使用消波塊保護設施時，應注意消波塊之間的聯接穩固性，以免因水流過大，而將單一個消波塊沖走。例如：在里港大橋的實地觀察中，看到一長排以鋼筋相串接的方形大水泥塊，就是一個例子。
4. 消波塊應避免放置在橋墩前端（上游方向），以免當消波塊被水流沖走時撞擊到橋墩，而造成另一種破壞。
5. 由於自製的消波塊較小，所以其間的聯接性較差，所以，在實驗中較易見



到單一個消波塊被流水沖走。

- (八)在整個實驗過程中我們發現，橋墩愈重愈不容易被水流沖刷破壞。
- (九)在本實驗中，由於必須控制的變因很多，因此可能產生誤差，所以，我們進行了多次的實驗，而取其中較接近的五次，以避免產生較大的誤差。
- (十)其實影響水陸橋橋墩受損的因素還有許多，但是，因為實驗的設計與器材的準備對我們來說，還有許多困難，所以我們只能以討論、實地觀察及資料蒐集來加以了解。

## 六、結 論

- (一)河道坡度愈大，橋墩就愈容易受損，所以，橋墩應建於河道平緩的地方。
- (二)土石流對橋墩的傷害性是很強的。
- (三)在河床盜採砂石，會導致橋墩基礎暴露於外，加速橋墩的毀損。
- (四)當橋墩以水滴形 “  ” 來設計時，其受水流的影響及傾倒毀壞的情形最小。
- (五)在橋墩周圍設有保護措施時：兩側置蛇籠，後面（下游方向）擺消波塊 “  ”，則橋墩的穩固性最強。
- (六)我們找到了使橋墩最不容易受損的方法是：“水滴形橋墩+兩側蛇籠、後面消波塊”的設計。

## 七、研究與展望

- (一)在實地觀察中，我們發現在橋墩底座的周圍，其水流恰成爲與橋墩同形狀的水坑，這到底是什麼原因呢？不知道會不會影響橋墩，很值得進一步探討。
- (二)水滴形是我們找出來最不易受水流影響的形狀，但是這種形狀的橋墩，它的支撐力如何，爲何在實地觀察中，從未見過，也值得我們再去探討。

## 八、參考資料與其他

- (一)漢聲小百科（9）——英文漢聲出版有限公司。
- (二)國語週刊646期——國語週刊雜誌社。
- (三)歷屆科展優勝作品專輯。
- (四)各大報紙——85年7、8月。
- (五)台灣公路工程期刊，第23卷，第4、5期。

## 評 語

- (一)本作品利用水流模型試驗，探討橋墩形狀，以及蛇籠磯石的擺設，對大水沖刷受損的影響。
- (二)實驗設計頗具創意，且符合科學研究精神，其結論亦十分實用，是一件相當值得鼓勵的作品。
- (三)在實驗過程中，若能考慮不同水流方向的影響，將更能應用於實際的河川中。